

УДК 340.624.41

ПРОГНОЗ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ ПО АКАДЕМИЧЕСКОЙ ГРЕБЛЕ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ БИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЫВОРОТКИ КРОВИ

© 2023 г. В.И. Пустовойт*,#, Т.А. Астрелина*, Е.И. Балакин*, И.В. Кобзева*, Ю.Б. Сучкова*, А.В. Хан*, А.А. Муртазин*, Н.Ф. Максютлов*, В.А. Брумберг*

ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России
ул. Маршала Новикова, 23, Москва, 123098, Россия

*E-mail: vpust@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.07.2022 г.

После доработки 19.07.2022 г.

Принята к публикации 01.11.2022 г.

Определение состояния метаболизма является актуальной проблемой в спортивной медицине. Биохимические и гематологические показатели крови отражают преобладание анаболических или катаболических процессов в метаболизме, которые зависят от интенсивности и продолжительности тренировок. Для определения преобладания метаболических процессов было проведено исследование, в которое вошел 21 спортсмен-гребец мужского пола (возраст: 22.55 ± 3.68 года, рост: 189.62 ± 6.34 см, вес: 88.65 ± 8.55 кг). Мониторинг параметров крови и уровня интенсивности тренировок позволил установить линейно-дискриминантную функцию, с помощью которой были определены восемь основных параметров крови, позволяющих прогнозировать метаболическое состояние: креатинин ($p < 0.001$), мочевиная кислота ($p < 0.001$), мочевиная ($p < 0.001$), тестостерон ($p < 0.001$), щелочная фосфатаза ($p < 0.001$), альбумин ($p < 0.05$), общий кальций ($p < 0.05$), общий белок ($p < 0.05$). Достоверность разработанного прогноза метаболической активности спортсменов с использованием линейно-дискриминантных функций подтверждена сильной положительной корреляцией ($r = 0.88$; $p < 0.001$) с результатами оценки активности нейроэндокринной системы. Точность определения метаболического состояния составила 91.8%.

Ключевые слова: гребля; регуляция метаболизма; биохимический анализ крови; дискриминационная модель.

DOI: 10.31857/S0006302923020205, EDN: CDMJII

Интенсивные физические нагрузки оказывают существенное воздействие на метаболические процессы в организме спортсменов и, соответственно, происходит изменение биохимических показателей, что можно выявить по лабораторным анализам сыворотки крови. Первостепенной задачей спортивного врача, является своевременное определение и предоставление информации тренеру и спортсмену о функциональном состоянии систем организма.

В настоящее время есть огромная потребность в определении предикторов, описывающих изменения в метаболических механизмах регуляции

организма в период годичного тренировочного макроцикла.

Длительные физические нагрузки сопровождаются высокой метаболической активностью в системах организма с повышением показателей креатинфосфокиназы (КФК) и ее миокардиальной изоформы (КФК-МВ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы (ЩФ) и миоглобина, которые обычно повышаются после тренировки. Увеличение данных показателей в периферическом кровеносном русле связано с нарушением метаболических процессов в мышечной ткани вследствие истощения функциональных резервов организма [1–8]. Повышение концентрации в периферической крови АСТ, аланинаминотрансферазы (АЛТ), ЛДГ и γ -глутамилтрансферазы (ГГТ) служит предвестником нарушения процессов метаболической активности в печени в ответ на длительные физические нагрузки [1, 8–14].

Сокращения: КФК — креатинфосфокиназа, КФК-МВ — миокардиальная изоформа креатинфосфокиназы, ЛДГ — лактатдегидрогеназа, АСТ — аспартатаминотрансфераза, ЩФ — щелочная фосфатаза, АЛТ — аланинаминотрансфераза, ГГТ — γ -глутамилтрансфераза, ЛПВП — липопротеиды высокой плотности, ЛДФ — линейно-дискриминантная функция.

Увеличение значений ЩФ подтверждает преобладание процессов катаболизма белковых и аминокислотных соединений, а также гидролиза жиров с целью поддержания гомеостаза в период длительной физической нагрузки [15, 16].

Известно, что повышение концентрации мочевой кислоты, креатинина и мочевины в сыворотке крови характеризует увеличение интенсивности процессов катаболизма белковых и аминокислотных соединений, а также изменение функциональной активности почек [17–21]. Динамика этих показателей находится в сильной корреляционной связи с интенсивностью и длительностью физических нагрузок [18, 22, 23], что предполагает использование показателей концентрации мочевой кислоты, креатинина и мочевины в качестве предикторов активности метаболических процессов.

Предыдущие исследования показали, что биохимические и гематологические показатели крови характеризуются значительными изменениями в течении годового макроцикла, что, по-видимому, связано с интенсивностью физических нагрузок и воздействием экзогенных факторов [24].

Динамический мониторинг показателей сыворотки крови предоставляет возможность определить предикторы, которые станут ценным инструментом для своевременного изменения схемы нутритивно-метаболической поддержки и тренировочного процесса или оценки эффективности проводимых корректирующих процедур, что позволит предотвратить перетренированность спортсменов.

Цель исследования заключается в разработке диагностической модели прогноза преобладания метаболических процессов регуляции в организме спортсменов, опирающейся на значимые предикатные показатели биохимического анализа крови.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Участники. В клинко-лабораторном исследовании добровольно принял участие 21 спортсмен мужского пола (возраст — 22.55 ± 3.68 года, рост — 189.62 ± 6.34 см, масса тела — 88.65 ± 8.55 кг, индекс массы тела — 24.58 ± 2.78 , жировая масса — 16.17 ± 2.79 кг, тощая масса — 72.47 ± 3.39 кг, активная клеточная масса — 44.12 ± 2.13 кг, скелетно-мышечная масса — 39.88 ± 1.8 кг, общая жидкость — 53.06 ± 2.46 кг, внеклеточная жидкость — 20.97 ± 1.12).

Все испытуемые спортсмены входят в сборную по академической гребле. Перед началом исследования они были проинформированы о возможных рисках и неудобствах, связанных с процедурами забора крови, после этого подписывалась

форма информированного согласия на участие. На момент исследования обследуемые лица были некурящими, по результатам прохождения углубленного медицинского обследования (в которое входили инструментальные обследования — флюорография, ультразвуковое обследование брюшной полости и органов малого таза, эхокардиография, электрокардиография; нагрузочное тестирование «до отказа», общий анализ мочи, биохимический и общий клинический анализ крови; также проводились осмотры врачами — офтальмологом, отоларингологом, хирургом, кардиологом, неврологом, стоматологом, эндокринологом и терапевтом) все участники были признаны здоровыми. В период клинко-лабораторных исследований спортсмены не принимали фармакологические препараты и биологически активные добавки, которые могли бы повлиять на метаболические процессы в организме обследуемых лиц. Физические нагрузки проходили по полтора часа, дважды в день в течение шести дней в неделю.

Для того чтобы подчеркнуть преобладание катаболических или анаболических процессов в метаболических механизмах регуляции организма во время годового макроцикла, основывались на общепринятых (в спорте высших достижений) биомаркерах сыворотки крови, клинической картине, концентрации гормонов гипоталамо-гипофизарной системы. Для выявления корреляций между текущим состоянием метаболической системы и биохимическими показателями спортсмены разделялись на две группы в зависимости от донозологической формы на оптимальное состояние и с наличием признаков утомления или переутомления организма спортсменов, связанные с изменениями биохимических процессов для поддержания гомеостаза. Выраженность катаболических или анаболических механизмов регуляции определяется интенсивностью и продолжительностью физических нагрузок. Данные изменения в организме спортсменов сочетаются с высокой активностью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой осью и подтверждаются повышением концентраций в крови продуктов катаболизма белковых и аминокислотных соединений, перекисного окисления липидов и нуклеиновых кислот. Интенсивная и длительная физическая нагрузка сопровождается изменениями скорости метаболизма регуляции организма с образованием биохимических сдвигов в плазме крови, подтверждающих нарушение обменных процессов в мышечных тканях и внутренних органах.

Прогнозирование механизмов преобладания метаболического (анаболический или катаболический) процесса организма спортсмена, как на текущий момент времени, так и его изменение в динамике четырехлетнего макроцикла, является первостепенной задачей в спортивной медицине.

Новый подход к объективному контролю процессов катаболизма и анаболизма предоставит возможность эффективного управления мероприятиями подготовки спортсмена при достижении высшей цели.

Причиной такого разделения послужил тот факт, что функциональное состояние организма существенно различается по метаболическим потребностям из-за различий в энергетических процессах, протекающих до момента полноценного восстановления. Выраженность катаболических или анаболических механизмов регуляции определяется интенсивностью и продолжительностью физических нагрузок.

Разработка модели прогноза преобладания механизмов регуляции (анаболический или катаболический) организма спортсменов, по академической гребле, как на текущий момент времени, так и его изменение в динамике годового макроцикла, является первостепенной задачей в спортивной медицине.

Забор крови и биохимический анализ сыворотки. Забор капиллярной крови у испытуемых спортсменов проводили строго натощак из дистальной фаланги пальца после ночного голодания в соответствии со стандартными диагностическими процедурами. Применяли систему сбора капиллярной крови, по 3 капилляра объемом 200 мкл для биохимических и гематологических анализов с антикоагулянтом (гепарин лития) и этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) соответственно. Первая капля крови перед забором выбрасывали в специальный биоконтейнер, остальной полученный биоматериал не позднее чем через два часа после сбора центрифугировали при скорости 3500 об/мин, а затем анализировали с использованием модульной платформы Cobas 6000 (Roche Diagnostics, Германия).

В сыворотке крови определяли следующие метаболиты: кислую фосфатазу (Ед/л), лактат (ммоль/л), общий белок (г/л), альбумин (г/л), креатинин (мкмоль/л), мочевины (мкмоль/л), мочевую кислоту (ммоль/л), амилазу (Ед/л), триглицериды (ммоль/л), холестерин общий (ммоль/л), липопротеиды высокой плотности (ЛПВП, ммоль/л), билирубин общий (ммоль/л), билирубин прямой (ммоль/л), АЛАТ (Ме/л), АСАТ (Ме/л), КФК (Ме/л), КФК-МВ (Ме/л), ЛДГ (Ме/л), ГГТ (Ме/л), ЩФ (Ме/л), общий кальций (ммоль/л), фосфор (ммоль/л), магний (ммоль/л), железо (ммоль/л), соматотропный гормон (нг/мл), тиреотропный гормон (Ме/л), Т4 свободный (Ме/л), пролактин (Ме/л) и общий тестостерон (нмоль/л).

Статистический анализ. Полученные данные обрабатывали с использованием специального программного прикладного пакета STATISTICA v 13.1 (StatSoft, Inc., США) наряду с табличным ре-

дактором Excel for Windows 2016. При обработке биохимических данных статистическая значимость была установлена на уровне $p < 0.05$.

Для разработки классификации проводили обработку и анализ собранных данных, а также для моделирования механизмов метаболической регуляции в организме спортсменов в зависимости от показателей биомаркеров проводили статистическую группировку результатов с описанием признаков и их корреляционный анализ с применением коэффициента ранговой корреляции Спирмена [25].

Использование дискриминантного анализа предоставило возможность построить классификацию с обобщением, обработкой и анализом собранных материалов. В результате чего была определена межгрупповая дисперсия признаков, сделан пошаговый отбор с включением значимых и исключением недостоверных переменных, оценкой гипотезы и степени влияния качественных показателей с градацией на два уровня [25]. Выведенная линейно-дискриминантная функция (ЛДФ) позволяет прогнозировать вероятность преобладания катаболических механизмов регуляции в организме спортсменов, занимающихся академической греблей.

Выводы сделаны с учетом исходного фона биомаркеров спортсменов, интенсивности и длительности физических нагрузок, а также влияния экзогенных факторов. Данная работа базируется на биохимических показателях крови и разносторонних, объективных методах математико-статистической обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Биохимическое обследование в динамике годового цикла предоставило возможность увидеть значимые различия в показателях, характеризующих анаболические или катаболические процессы в организме спортсменов.

Для создания модели, позволяющей определить в режиме реального времени преобладание метаболических механизмов регуляции в организме спортсменов (включая определения анаболической или катаболической фазы) и выявить наиболее значимые предикторы, использовали многофакторный анализ, с помощью которого полученные показатели (содержание кислой фосфатазы, мочевины, лактата, креатинина, мочевой кислоты, общего белка, альбумина, АСАТ, АЛАТ, ГГТ, амилазы, общего и прямого билирубина, фосфора, железа, общего кальция, магния, холестерина, триглицеридов, холестерина ЛПВП, ЩФ, КФК, КФК-МВ, ЛДГ, соматотропного и тиреотропного гормонов, gross-laps-b, миоглобина, свободного тироксина, АТ-ТПО, пролактина, тестостерона и кортизола) были про-

Таблица 1. Оценка информативности признаков при диагностике метаболических процессов, включенных в линейную дискриминантную функцию

Показатели	Лямбда Уилкса	Частная лямбда Уилкса	<i>F</i> -исключения	<i>P</i> -level	Toler
Креатинин	0.57	0.77	602.1826	0.000	0.76
Мочевая кислота	0.60	0.74	718.3235	0.000	0.96
Мочевина	0.48	0.92	174.0340	0.000	0.95
Тестостерон	0.45	0.99	18.6873	0.000	0.89
ЩФ	0.44	0.99	10.8572	0.001	0.74
Альбумин	0.44	0.99	7.3520	0.006	0.99
Общий кальций	0.44	0.99	7.6543	0.005	0.89
Общий белок	0.44	0.997	4.3478	0.037	0.89

анализированы для выявления наиболее значимых предикторов с последующим включением в модель определения анаболической или катаболической фазы.

С целью осуществления поставленной задачи выбрали дискриминантный анализ как наиболее подходящий для выявления предикторов, значимо влияющих на отнесение конкретного обследуемого к одному из метаболических процессов.

Дискриминантный анализ биохимических результатов обследования показал, что для разработки достоверной математической модели с разделением метаболического процесса в организме спортсменов на две фазы анаболическую или катаболическую необходимо учитывать следующие восемь основных показателей: содержание креатинина ($p = 0.000$), мочевой кислоты ($p = 0.000$), мочевины ($p = 0.000$), тестостерона ($p = 0.000$), ЩФ ($p = 0.001$), альбумина ($p = 0.006$), общего кальция ($p = 0.005$) и общего белка ($p = 0.037$).

Данные результаты представлены в табл. 1, где значение лямбды Уилкса (λ) = 0.044 ($F(82.065) = 319.76$, $p < 0.001$) говорит о хорошей дискриминации, так как λ приняла значение близкое к 0.

По данным, представленным в табл. 1, видим, что чем меньше значение частной лямбды Уилкса, тем больше вклад соответствующего показателя в диагностическую модель. Переменные креатинин, мочевая кислота и мочевина делают значительный вклад, а тестостерон, щелочная фосфатаза, альбумин, общий белок и кальций вносят наименьшее значение в общую дискриминацию. Опираясь на результаты табл. 1, возможно сделать вывод, что показатели креатинин, мочевая кислота и мочевина являются главными переменными, которые вносят свой вклад в дискриминацию между фазами, характеризующими метаболический процесс.

Показатель Toler (толерантность) является мерой избыточности переменной в модели. Хорошая связь в таблице данных подтверждена высокими значениями толерантности для большинства критериев, в меньшей степени — для щелочной фосфатазы, но данный биохимический показатель обобщает текущую фазу метаболического процесса, что подтверждает необходимость его включения в диагностическую модель. Удаленность независимых переменных и разность дисперсий, влияющих на оценку метаболического процесса подтверждена значениями λ -критерия Уилкса ($p < 0.001$) и F -фактора ($p < 0.001$).

В результате пошагового отбора наиболее значимых ($p < 0.05$) признаков с уровнем надежности не менее 95% решена задача выработки окончательной дискриминантной функции, где коэффициенты для линейных классификационных функций с уровнями градации признаков представлены в табл. 2.

Для определения фазы метаболического процесса, а также прогноза развития адаптационных механизмов регуляции в организме используются разработанные формулы ЛДФ, в которые подставляются значения биохимических показателей (содержания креатинина, мочевой кислоты, мочевины, тестостерона, щелочной фосфатазы, альбумина, общего кальция и общего белка), полученные при обследовании конкретных спортсменов (табл. 3).

Для определения преобладания анаболических или катаболических процессов производили решение уравнений, по итогам которых определяли наибольшее значение ЛДФ (табл. 3), оно же соответствует фазе метаболических механизмов регуляции в организме спортсменов.

Таблица 2. Биохимические показатели, включенные в модель определения метаболических процессов и коэффициенты ЛДФ

Признаки	Условное обозначение	Коэффициенты	
		ЛДФ1	ЛДФ2
Креатинин	X1	0.936	0.801
Мочевая кислота	X2	0.072	0.047
Мочевина	X3	4.018	3.281
Тестостерон	X4	0.029	0.169
Щелочная фосфатаза	X5	0.081	0.077
Альбумин	X6	0.000	0.000
Кальций общий	X7	127.092	125.615
Общий белок	X8	1.794	1.823
Константа		-305.144	-278.649

Таблица 3. Решающие правила дифференциальной диагностики метаболических процессов у спортсменов в зависимости от максимального значения ЛДФ

Наибольшая вероятность преобладания катаболических процессов
$\text{ЛДФ1} = -305.1 + 0.9 \times X1 + 0.07 \times X2 + 4.02 \times X3 + 0.03 \times X4 + 0.08 \times X5 + 0.001 \times X6 + 127.1 \times X7 + 1.8 \times X8$
Наибольшая вероятность преобладания анаболических процессов
$\text{ЛДФ2} = -278.7 + 0.8 \times X1 + 0.05 \times X2 + 3.3 \times X3 + 0.17 \times X4 + 0.08 \times X5 + 0.001 \times X6 + 125.6 \times X7 + 1.8 \times X8$
Наибольшая вероятность преобладания катаболических процессов

Дискриминантная функция прогноза метаболических процессов в организме спортсменов, имеет достаточно высокую информационную способность (91.8%), что подтверждается клиническими данными (оценка заболеваемости в период тренировок) и биохимическими показателями активности нейроэндокринной системы, как отношение концентраций тестостерона к кортизолу (Т/К), характеризующее стадию адаптационных механизмов регуляции в организме спортсменов в ответ на стрессогенные факторы. Результаты корреляционного анализа отношения Т/К показали сильную положительную связь ($r = 0.88$, $p < 0.001$) с прогнозом ЛДФ метаболической активности организма (табл. 4).

Классификационная матрица прогноза метаболических процессов по итогам расчета дискриминантной функции демонстрирует статистическую значимость модели ($p < 0.01$), где чувствительность решающих правил для определения фазы преобладания анаболических или катаболических механизмов регуляции представлена в табл. 5. Фаза с преобладанием катаболических процессов в организме спортсменов обеспечивает совпадение предлагаемой модели прогнозируемого состояния с реальным результатом в 87.5% случаев. Предполагаемая модель прогноза анаболической фазы обеспечивает прогнозируемое совпадение с реальным результатом в 94.3% слу-

чаев. Классификационная чувствительность модели определения метаболических процессов в организме спортсменов, обеспечивает прогнозируемое совпадение в 91.8% случаев с реальными результатами.

Математическая модель определения фаз метаболической регуляции в организме спортсменов, обеспечивает статистически значимый ($p < 0.01$) прогноз, основанный на восьми стандартных биохимических показателях (содержание креатинина, мочевой кислоты, мочевины, тестостерона, щелочной фосфатазы, альбумина, общего кальция и общего белка).

Модель диагностики фаз метаболической регуляции в дальнейшем использовали для быстрого прогноза возможных изменений адаптационных механизмов регуляции организма спортсменов в ответ на неблагоприятные факторы окружающей среды и их динамического контроля в период интенсивных тренировок и непосредственно на соревнованиях. Данный метод скрининга представляет собой процедуру диагностики, цель которой — выявление спортсменов с высокой вероятностью преобладания катаболических над анаболическими механизмами регуляции организма.

Разработанная модель является лишь первичным диагностическим инструментом, позволяющим в совокупности дать оценку метаболическим

Таблица 4. Определение взаимосвязи биохимических показателей крови с ЛДФ метаболической активности организма спортсменов, спорта высших достижений

Переменная	Взаимосвязь биохимических показателей с ЛДФ	P-level
Мочевина	0.640915	0.000
Лактат	0.070377*	0.600
Креатинин	0.630985	0.000
Мочевая кислота	0.628313	0.000
Общий белок	−0.35668	0.040
Альбумин	−0.30786	0.050
АСАТ	0.705858	0.000
АЛАТ	0.445125	0.004
ГГТ	−0.14559*	0.400
Амилаза	0.251452*	0.100
Билирубин общий	0.169161*	0.300
Фосфор	0.285244*	0.070
Кальций общий	−0.28712	0.050
Холестерин	0.091989*	0.500
Триглицериды	−0.06771*	0.600
Холестерин ЛПВП	0.021756*	0.800
Железо	0.048337*	0.700
Билирубин прямой	0.125701*	0.400
ЩФ	−0.43978	0.020
КФК	0.410799	0.009
КФК-МВ	0.524825	0.000
Магний	0.082256*	0.600
Миоглобин	0.546232	0.0003
ЛДГ	0.275505*	0.080
Соматотропный гормон	−0.0435*	0.700
Gross-Laps-B	−0.10877*	0.500
Тиреотропный гормон	−0.16916*	0.300
Тироксин свободный	−0.24649*	0.100
Антитела к тиреоидной пероксидазе	−0.2175*	0.100
Пролактин	0.372136	0.010
Тестостерон	−0.42381	0.030
Кортизол	0.351312	0.020
IgE	−0.65245	0.000
IgA	−0.54615	0.000
IgM	−0.69705	0.000
IgG	−0.66214	0.000
T/K	0.879769	0.000

Примечание. * – Отсутствует достоверная взаимосвязь ($p > 0.05$).

Таблица 5. Классификационная матрица прогноза метаболических процессов в организме спортсменов, спорта высших достижений ($n = 2100$)

Метаболические процессы	Чувствительность	Классификация состояния по значению ЛДФ		Всего случаев
		ЛДФ 1	ЛДФ 2	
Кataboлическая фаза	87.5%	685	98	783
Анаболическая фаза	94.3%	75	1242	1317
Всего	91.8%	760	1340	2100

процессам в организме спортсменов на самом раннем этапе и инициировать нутритивно-метаболическую поддержку в точке их максимальной эффективности.

ВЫВОДЫ

Динамическое биохимическое обследование спортсменов позволило определить значимые ($p < 0.05$) предикторы (креатинин, мочевиная кислота, мочевиная, тестостерон, щелочная фосфатаза, альбумин, общий кальций и общий белок) метаболических процессов в организме.

Продемонстрирована средняя положительная (для гемоглобина, АСАТ, АЛАТ, креатинина, мочевиная кислота, мочевины, КФК, КФК-МВ, миоглобина, кортизола) и отрицательная (для тестостерона, щелочной фосфатазы, альбумина, иммуноглобулинов, общего кальция и общего белка) связь ($0.30 > r > 0.69$, $-0.69 < r < -0.30$, $p < 0.05$) биохимических показателей с ЛДФ метаболической активности организма спортсменов.

Сформированы классификационные критерии определения анаболической или кataboлической фазы регуляции у спортсменов на основании математико-статистической обработки биохимических результатов методом ANOVA, в которой показаны значимые ($p < 0.05$) различия в процессах метаболической регуляции, обеспечивающей энергетический баланс в организме.

Достоверность разработанного прогноза ЛДФ метаболической активности организма спортсменов подтверждена сильной положительной корреляционной связью ($r = 0.88$, $p < 0.001$) с результатами оценки активности нейроэндокринной системы.

Разработана информативная (91.8%) математическая модель, дающая возможность достоверно ($p < 0.05$) и своевременно спрогнозировать преобладание метаболической активности в организме спортсменов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Исследование одобрено этическим комитетом ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России от 18.10.2018 г. (№ 10/2) в соответствии с Хельсинкской декларацией. От всех участников было получено информированное согласие на участие в экспериментах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Banfi, A. Colombini, G. Lombardi, and A. Lubkowska, Adv. Clin. Chem., **56**, 1 (2012).
2. P. Brancaccio, N. Maffulli, and F. M. Limongelli, Br. Med. Bull., **81–82**, 209 (2007).
3. S. Honda, T. Kawasaki, T. Kamitani, and K. Kiyota, Intern. Med. Tokyo Jpn., **56**, 1175 (2017).
4. F. Hoppel, E. Calabria, D. Pesta, et al., Front. Physiol., **10**, 1300 (2019).
5. D. Magrini, M. Khodaei, I. San-Millán, et al., Phys. Sportsmed., **45**, 129 (2017).
6. J. Á. Rubio-Arias, V. Ávila-Gandía, F. J. López-Román, et al., Physiol. Behav., **205**, 51 (2019).
7. A. J. Siegel, L. M. Silverman, and R. E. Lopez, Yale J. Biol. Med., **53**, 275 (1980).
8. J. N. Tirabassi, L. Olewinski, and M. Khodaei, Sports Health, **10**, 361 (2018).
9. T. Chamera, M. Spieszny, T. Klocek, et al., J. Strength Cond. Res., **28**, 2180 (2014).
10. G. Lippi, F. Schena, M. Montagnana, et al., Eur. J. Intern. Med., **22**, e36 (2011).
11. J. Mieszkowski, B. E. Stankiewicz, A. Kochanowicz, et al., Front. Physiol., **12**, 731889 (2021).
12. A. Nowakowska, D. Kostrzewa-Nowak, R. Buryta, and R. Nowak, Int. J. Environ. Res. Public. Health, **16**, 3279 (2019).
13. K.-A. Shin, K. D. Park, J. Ahn, et al., Medicine (Baltimore), **95**, e3657 (2016).
14. H.-J. Wu, K.-T. Chen, B.-W. Shee, et al., World J. Gastroenterol., **10**, 2711 (2004).
15. G. Banfi, G. Lombardi, A. Colombini, and G. Lippi, Sports Med. Auckl. NZ, **40**, 697 (2010).
16. O. A. Ekun, A. F. Emiabata, O. C. Abiodun, et al., BMJ Open Sport Exerc. Med., **3**, e000223 (2017).

17. F. Hoppel, E. Calabria, D. H. Pesta, et al., *Front. Physiol.*, **12**, 632664 (2021).
18. L. A. Juett, K. L. Midwood, M. P. Funnell, et al., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **121**, 3485 (2021).
19. M. Lecina, I. López, C. Castellar, and F. Pradas, *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, **18**, 11323 (2021).
20. M. P. G. Leers, R. Schepers, and R. Baumgarten, *Clin. Chem. Lab. Med.*, **44**, 999 (2006).
21. A. Colombini, M. Machado, G. Lombardi, et al., *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **54**, 658 (2014).
22. G. Banfi, M. Del Fabbro, and G. Lippi, *Br. J. Sports Med.*, **40**, 675 (2006).
23. R. Milić, G. Banfi, M. Del Fabbro, and M. Dopsaj, *Clin. Chem. Lab. Med.*, **49**, 285 (2011).
24. В. И. Пустовойт, Р. В. Никонов, А. С. Самойлов и др., *Курортная медицина*, № 2, 85 (2021).
25. <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.

Prediction of Metabolic Activity of Rowing Athletes Based on Serum Biochemical Analysis

**V.I. Pustovoyt*, T.A. Astrelina*, E.I. Balakin*, I.V. Kobzeva*, Y.B. Suchkova*, A.V. Khan*,
A.A. Murtazin*, N.F. Maksjutov*, and V.A. Brumberg***

*State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Federal Medical Biological Agency,
ul. Marshala Novikova 23, Moscow, 123098 Russia*

Determination of the metabolic state is an important topic in sports medicine. Biochemical and hematological blood parameters reflect the predominance of anabolic or catabolic processes in metabolism, these parameters depend on intensity and duration of workouts. The aim of the present study was to determine whether metabolic processes are dominant. 21 male rowing athletes (age: 22.55 ± 3.68 years, height: 189.62 ± 6.34 cm, weight: 88.65 ± 8.55 kg) participated in the experiment. Monitoring of blood concentrations in samples collected from participating athletes and measuring workout intensity led to the use of a linear-discriminant function. With this technique, the eight main blood count parameters: creatinine ($p < 0.001$), uric acid ($p < 0.001$), urea ($p < 0.001$), testosterone ($p < 0.001$), ALP ($p < 0.001$), albumin ($p < 0.05$), total calcium ($p < 0.05$), and total protein ($p < 0.05$) for the prediction of the metabolic state have been determined. The reliability of test results using a linear-discriminant function for the prediction of the metabolic state in athletes was supported by a strong positive correlation ($r = 0.88$, $p < 0.001$) with the results of the neuroendocrine system activity assessments. The accuracy of the metabolic state prediction was 91.8%.

Keywords: rowing, metabolic regulation, biochemical blood test, discriminative model